

## 航空航天特色的大学化学教学与实践

鹿现永\* 杨青林 朱 英

(北京航空航天大学化学与环境学院, 北京 100191)

**摘要:** 在大学化学课程教学中, 通过结合本校航空航天专业特色, 激发学生的学习兴趣, 培养学生的专业自豪感和灵活运用大学化学基本概念和基本理论的能力。

**关键词:** 大学化学; 航空航天特色; 兴趣; 能力

**中图分类号:** O6; G64

## Teaching and Practice of College Chemistry Specialized for Aeronautics and Astronautics

LU Xian-Yong\* YANG Qing-Lin ZHU Ying

(School of Chemistry and Environment, Beihang University, Beijing 100191, P. R. China)

**Abstract:** A teaching reform of college chemistry by combination of aeronautics and astronautics has been well performed in our university. This reform has stimulated students' interest in studying college chemistry with their professional pride. Above all, most students have solidly mastered the basic concepts and theories of this course.

**Key Words:** College chemistry; Characteristics of aeronautics and astronautics; Interest; Capacity

大学化学是我校面向非化学工科专业开设的一门公共基础课程, 是刚入大学的工科大学生系统学习化学基本理论和化学知识的平台。北京航空航天大学是一所具有航空航天特色和工程技术优势的多样性、开放式、研究型大学。如何将学校特色和大学化学的教学进行融会贯通, 密切联系航空工业和现代科技发展的实际, 体现化学与航空航天工业技术间的桥梁作用, 是培养航空航天人才的重要组成部分。本文介绍在大学化学教学过程中如何结合航空航天知识加强学生对基本理论的掌握, 激发学生对大学化学学习的兴趣。

### 1 大学化学与航空航天结合的教学实践

北京航空航天大学核心基础课程——大学化学共 60 学时(理论课 48 学时, 实验课 12 学时)。课程考核采用习题集、课后习题、绪论小论文、实验和考试等综合累计考核方法。由于北京航空航天大学各非化学专业都具有独特的航空航天特色, 如何实现专业特色和大学化学教学有机结合, 激发大学生对于大学化学的学习兴趣是我们重要的教学理念。我们梳理每章教学内容的知识点与航空航天知识的结合点, 重新修订了大学化学教学大纲, 并将其指导思想贯穿于全部的教学环节中。

\*通讯作者, Email: xylu@buaa.edu.cn

基金资助: 北京航空航天大学 2015 年校教学改革重点项目; 大学化学核心基础课建设项目

### 1.1 绪论与航空航天结合的教学实践

绪论是大学化学课堂教学的第一课,在整个学科教学中起着提纲挈领的作用。通过绪论课,学生在明确本课程学习目的、学习内容和学习方法的同时,更要了解化学对所学专业领域所起的重要作用。我校非化学工科专业均有航空航天特色。通过讲授化学在航空航天领域的中心学科作用,激发学生的学习兴趣,同时为后续的学习创造一个良好的开端。下面通过具体的教学举例,阐述在绪论中如何结合航空航天知识背景进行教学探索。例如通过讲授航天飞行器——运载火箭、航天飞机所需要的动力来源于燃料的氧化反应,使航天飞行器系的学生了解原来除了数学计算、机械设计、力学测试,还有化学燃料提供飞行器的动力。中国载人航天工程实现了中国人几千年的登天梦想。宇航员身着宇航服在维持其生命活动和工作能力方面起到了重要的作用<sup>[1]</sup>。通过介绍宇航服的高级混合纤维具有高强度、耐高温、抗撞击和耐辐射的功能,引起学生对特种纤维成份的好奇。随后介绍组成特种纤维的涤纶和尼龙的化学结构和化学合成方法,大大激发了材料专业学生开发新型航天材料的热情。航天员正常的生命活动,必须要源源不断地吸进空气中的氧气,呼出二氧化碳。如果舱内二氧化碳浓度不断增高,会威胁到航天员的生命。关键的化学问题是如何将二氧化碳分解成碳和氧气。这个化学反应是在化学合成的铁酸镍( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ )纳米晶体催化下完成的。通过此航空知识的介绍使空间生命科学系的学生感受到化学在该领域的重要用途。总之,航空航天与化学结合的绪论不但要让学生在学化学时产生一种专业自豪感,更为重要的是激发学生对学习大学化学的热情。另外,绪论结束后,布置小论文“航空航天中的化学”。通过该论文的写作,不但能够培养学生查询文献的能力,更能锻炼其科技论文的写作能力。

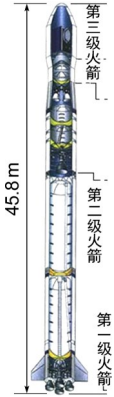
### 1.2 化学的基本原理在航空航天中的应用

大学化学的热力学内容主要包括热力学的基本概念和化学反应基本原理,主要研究体系所涉及的热与其他形式能量间的转换关系。化学热力学所要解决的核心问题是,在指定条件下一个热力学体系中发生的过程变化的方向和限度(即平衡)问题。化学热力学是大学化学课程学习的主要内容,它是学习化学动力学等内容的基础,因此要求每位学生要充分理解和掌握化学热力学的基本概念和基本理论。然而枯燥的概念和理论往往让学生一头雾水,难以理解。结合实际的航空航天专业特色,笔者经过几年结合航空航天知识的热力学教学实践,取得了很好的效果。下面通过几个具体的实例,阐述化学热力学的内容与航空航天结合的教学实践。相是化学热力学中一个重要的概念,它表示系统中相同物理性质和化学性质的均匀部分,而且这种均匀是指分散度达到分子或离子大小的数量级。对于液相、气相的判断,学生都容易理解和掌握。而对于固相的判断,则存在一些疑问。比如,航空发动机大量使用的钛铝合金( $\text{Ti}_{45}\text{Al}_{50}\text{Nb}_5$ )<sup>[2]</sup>是几相?有的学生回答是一相,还有的学生回答是三相。此时利用多媒体手段,将钛铝合金的金属原子示意图展示在学生面前,然后再结合相的基本概念,确认钛铝合金为一相。再如,状态函数和过程函数。状态函数表征体系特性的宏观性质,多数指具有能量量纲的热力学函数(如内能( $U$ )、焓( $H$ )、吉布斯自由能( $G$ )、亥姆霍茨自由能( $A$ )、体积( $V$ )、压强( $p$ )、温度( $T$ )、熵( $S$ )),这些函数仅由系统所处的状态所决定,与达到平衡态的过程无关。我们可以通过几个具体的航空航天的例子,让学生充分理解这些函数的特性。如神舟8号飞船舱内体积假设为 $200\text{ m}^3$ ,从酒泉卫星发射中心发射到天空执行任务,不论经过何种途径(长征火箭发射、空间定轨、天空一号两次对接)返回地面,其舱内容积还是 $200\text{ m}^3$ ,体积不随途径变化而变化,只和状态相关,因此体积( $V$ )为状态函数。再如嫦娥二号探月卫星从西昌卫星发射中心发射到绕月轨道是直接由长征三号丙运载火箭送入奔月轨道,如果采用嫦娥一号探月卫星发射方式:先发射到地球附近的过渡轨道,绕地球7天以后才飞向月球轨道,同样也可以达到绕月轨道,由于途径不一样,发动机对卫星所做的功是不一样的,因此功( $W$ )不是状态函数,只是过程函数。

反应热是等温下化学反应释放或吸收的热量。有关反应热与航空航天结合,主要体现在运载火

箭燃料发生的化学反应。火箭的发动机需要极端的化学反应产生最大的能量，推动火箭做功克服地球引力。火箭的燃料要求单位容积和单位质量所产生的热量大，能在尽可能低的压强下充分燃烧，同时要求生成物的平均相对分子质量相对低，对高空耐寒性高。这就和大学化学热力学中反应热的问题紧密联系在一起。用于发射卫星的火箭一般为三级火箭，其有关各级火箭的燃料及热化学方程式如表1所示。第一级火箭的燃料一般为煤油，煤油具有易运输、加注方便、成本低的特点；液氧煤油推进剂非常便宜。第二级火箭多用液氢和液氧作为推进剂，具有发热量高、生成物为水、对环境友好的特点。第三级火箭利用肼作为燃料，以硝酸或四氧化二氮为氧化剂；燃烧效率高，易自燃。教师通过对上述液体燃料涉及到热化学方程式的讲解，总结出各种燃料不同的化学反应热，使学生充分认识到是化学能将卫星送入太空。课堂上留出思考题：通过常见化学燃料的标准摩尔生成焓，设计大功率火箭发动机。通过该思考题更能发挥学生学习的主观能动性，激发他们的学习热情。

表1 运载火箭燃料的热化学问题<sup>[3,4]</sup>

| 火箭                                                                                 | 推进剂                             | 热化学反应方程式                                                                                                                                                                                       | 优缺点                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|  | 肼、N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | $2\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + \text{N}_2\text{O}_4(\text{l}) = 3\text{N}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$<br>$\Delta_r H_m^\ominus = -1077.62 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ | 优点：自然推进剂，不担心点火失败<br>缺点：肼具有毒性和腐蚀性                          |
|                                                                                    | 液氢、液氧                           | $2\text{H}_2(\text{l}) + \text{O}_2(\text{l}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$<br>$\Delta_r H_m^\ominus = -483.6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$                                               | 优点：发热量高，生成物为水，对环境友好，比冲高<br>缺点：氢气沸点低，难液化，密度小，储存空间大，不导电，易爆炸 |
|                                                                                    | 煤油、液氧                           | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{CH}_3(\text{l}) + (7 + 3n)/2\text{O}_2(\text{l}) = (2 + n)\text{CO}_2(\text{g}) + (3 + n)\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad (n = 8-16)$                       | 优点：运输方便，加注安全方便，成本低廉<br>缺点：燃烧值低，推力不如液氢发动机                  |

化学反应自发性的基本判据是化学热力学的重点内容。笔者通过结合神舟六号舱内空气净化系统的具体实例，很好地让学生掌握了吉布斯函数判据和催化剂两个知识点。图1是神舟六号舱内空气净化系统。航天员呼出的空气、CO<sub>2</sub>和水蒸气经过分离装置(I)将混合气体分开，空气重新回到舱内，而CO<sub>2</sub>和水蒸气分别进入两个反应器(II和III)。在装置(III)中，水通过电解生成H<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>，其中O<sub>2</sub>进入太空舱供航天员呼吸，而H<sub>2</sub>作为反应器(II)中和CO<sub>2</sub>反应的物质，H<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>反应生成H<sub>2</sub>O和C，水又可以作为反应物提供给装置(III)。课堂提问：能否加入一种催化剂使水自动分解成H<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>？这个问题涉及到化学反应的可能性和现实性问题，因此引导学生利用吉布斯函数判据考查此反应的可能性。同

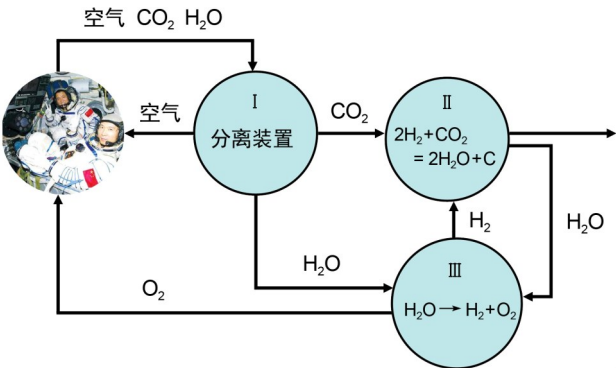


图1 神舟六号舱内空气净化系统

时介绍催化剂的本质——催化剂只是降低化学反应的活化能，不影响化学反应的平衡、内能变化和吉布斯自由能的变化。假设反应  $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$  能够进行，计算此反应的  $\Delta_r G_m^\ominus = 474.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} > 0$ ，因此不论加入何种催化剂都不能使水自动分解为  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$ 。要使该反应能够进行，必须通过电能使该反应的吉布斯自由能的变化小于零。通过对上述航空舱空气净化系统的讲述，使学生不但掌握了利用吉布斯自由能判据来判断化学反应的自发性，而且理解了催化剂在化学反应中的作用。

### 1.3 化学平衡在航空航天中的应用

电化学电源涉及到电化学的原理，从化学实质上讲是氧化还原反应<sup>[9]</sup>。许多航天器都靠化学能源给舱内仪器提供能源。比如中国的第一颗人造卫星——东方红一号卫星，其主要任务是向太空播放“东方红”乐曲，同时进行卫星技术试验，探测电离层和大气密度。教师提问：请问现在东方红一号还能播放东方红乐曲吗？为什么？这个问题主要涉及到卫星采用的电源问题，由于当时的技术问题，东方红一号没有条件采用太阳能电池给仪器舱提供电源，而是采用了银锌蓄电池作电源，电池寿命有限，卫星运行20天后，电池耗尽，“东方红”乐曲停止播放，卫星结束了它的工作寿命。银锌蓄电池放电时电极反应可写成：负极： $\text{Zn} + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^- = \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$ ；正极： $\text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{Ag} + 2\text{OH}^-$ ；电池总反应： $\text{Zn} + \text{Ag}_2\text{O} = \text{ZnO} + 2\text{Ag}$ 。因此随着化学反应的进行， $\text{Zn}$  和  $\text{Ag}_2\text{O}$  不断地消耗，当其消耗完毕后，电池耗尽。因此目前卫星的仪器舱失去电源，无法播放乐曲。氢氧燃料电池也是航天飞行器重要的化学电源。如阿波罗登月飞船就是利用氢氧燃料电池为仪器提供能源，同时为航天员提供水源。氢氧燃料电池主要由燃料电极(阳极)、氧化剂电极(阴极)、电解质等组成。燃料是  $\text{H}_2$ ， $\text{O}_2$  是氧化剂。两个电极之间是浸透  $\text{KOH}$  溶液的石棉隔膜，隔膜靠阳极的一侧有一层含有金属铂的催化剂。在碱性条件下，负极电极反应： $2\text{H}_2 + 4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = 4\text{H}_2\text{O}$ ；正极电极反应： $\text{O}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$ ；电池总反应： $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ 。电子从阳极上的氢中逸出流向氧；阴极上的氧得到电子后生成氢氧根，并使阴极带正电。然后，氢氧根通过电解质扩散到阳极，在催化剂的作用下与氢结合生成水，并且放出电子，使阳极带负电。当在两个电极之间接上负载时，电子从负极流向正极，从而产生电流。这样，只要对电池系统维持一定的温度、一定的电解质浓度、不断地供给燃料和氧化剂，并且不让反应产物——水在电池内部储留，那么就可从电池中源源不断地输出电能。同时，从电池中排出来的水经过净化以后就可供宇航员饮用。目前应用到空间站和卫星上的化学电源主要是再生氢氧燃料电池，其主要原理是将氢氧燃料电池技术与水电解技术相结合(图2)。空间站或卫星在转向太阳时主要由太阳能电池提供电源并通过水电解技术将水电解成  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$ 。在背向太阳时，燃料电池开始工作，为仪器提供电源。

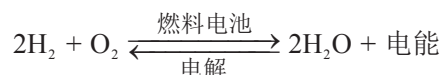


图2 再生氢氧燃料电池的原理

### 1.4 化学平衡及生命化学与航空航天结合的教学实践

化学平衡是指在宏观条件一定的可逆反应中，化学反应正逆反应速率相等、反应物和生成物各组分浓度不再改变的状态。生命的存在和持续在一定程度上是依赖机体处于正常环境下，各种能量、功能、信息分子进行有效生理活动的综合结果。尽管生命是一个极为复杂的过程，但其物质基础和生命活动都离不开化学分子和化学反应，化学在生命中的主要作用体现在各个方面的平衡因素。航天员在进入空间站后，排尿量比在地球上少了很多，尿液中磷酸钙( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ，溶度积  $K_s = 2.07 \times 10^{-33}$ )的含量却比他们在地面时高出很多。磷酸钙很容易在肾脏部位结晶形成结石。在失重的太空中，人骨骼中钙质的流失是宇航员得肾结石的主要原因。在我们的骨骼中，既有破骨细胞，也有成骨细胞。成骨细胞不断地将磷酸钙储存在骨基质中，起成骨作用；而破骨细胞则不断去除骨

基质中的磷酸钙。通常情况下，这两种活动是平衡的。然而一旦进入太空，由于重力几乎为零，骨头缺少压力，促使成骨细胞活动所需的刺激几乎不存在，但破骨细胞的活动仍在继续，导致钙以及其他组成骨骼的物质流失，继而引起血液中的钙增加，容易引发肾结石。

## 2 航空航天知识背景培养学生大学化学学习能力的效果

(1) 在绪论中，教师结合现代航空航天领域中化学知识的介绍，激发了学生对大学化学的学习兴趣，提高了学生对该课的学习热情。

(2) 绪论结束后，布置小论文作业“航空航天领域的化学”。通过撰写小论文，不但锻炼了学生科技论文的写作能力，而且使学生进一步了解了航空航天知识，增加了专业自豪感，同时增加了教师学生之间的交流。

(3) 通过航空航天领域中化学问题举例，使学生能够在快乐学习中掌握枯燥的化学热力学基本概念。

(4) 通过几年结合航空航天特色的大学化学教学实践，充分对比两个教学班(各班人数100人左右)是否实施航空航天特色教学的效果，结果表明，实施教学改革的教学班期末考试优秀率达到60%以上，这比未进行教学改革的班级优秀率提高了25%以上，从而表明具有航空航天特色的大学化学教学实践在基础课的学习上起到了很好的促进作用。

(5) 学生结束大学化学课程学习后，进入本专业课程的学习中，也主动地把化学的基本理论应用到专业中去，使大学化学成为一门工具学科。

总之，通过几年的教学实践，结合最新航空航天大事记对教学内容进行不断的更新和改进，使学生充分了解化学在航空航天领域中的巨大作用。同时结合航空航天特色的教学与实践，使学生熟悉了大学化学的基本知识和基本理论，能够运用这些理论、观点和方法解决本专业和生活中的实际问题。

感谢化学与环境学院院长江雷院士、常务副院长郭林教授对于大学化学教学改革的大力推动与支持。

## 参 考 文 献

- [1] 颜鸣皋. 新材料产业, **2009**, No. 10, 24.
- [2] 肖志军, 管春磊, 李潭秋. 航天医学与医学工程, **2011**, 24 (6), 460.
- [3] 李 东, 程堂明. 中国航天, **2008**, No. 2, 7.
- [4] Lide, D. R. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 90th ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, 2010.
- [5] 徐端钧, 方文军, 聂晶晶, 沈 宏. 普通化学. 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2011.